

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА РАЗПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ ПОДГОТОВКА НА ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ ЗА ПОЛЕТИ

Подполковник д-р Венелин ГЕОРГИЕВ

Иntenзивното използване на летателните апарати по предназначение е основен проблем, който постоянно занимава експертите и ръководителите на организации, осигуряващи летателната дейност. Той би могъл да се реши чрез изследване възможностите на системата за техническа експлоатация на летателните апарати, която е свързана пряко с подготовката им за полети, и по-конкретно оптимизиране разпределянето на наличните ресурси между възможните и конкуриращите се алтернативи с цел минимизиране на времето за подготовка на летателните апарати за полети.

Както във всяка икономическа дейност, така и при подготовката на летателните апарати за полети наличните ресурси – инженерно-технически състав, техника, апаратура, резервни части, информационни потоци и т.н., са винаги ограничени, което налага вземане на решение за по-ефективното им използване. В същото време тенденцията за увеличаване броя на осигуряваните самолетоизлитания за единица време все повече се утвърждава като водеща при нарастване интензивността на използване на летателните апарати по предназначение. Подготовката им за полети се извършва най-често в условия на риск, неопределеност, дори пълна неопределеност, т.е. без да се познават напълно условията на външната среда, включваща най-често и въздействие от страна на противника¹. Това налага необходимостта от изучаването и изследването на процеса на подготовка на летателните апарати за полети като икономическа дейност и създаването на условия за оптимизиране.

Рационален подход за решаване на задачите, свързани с изучаването и изследването на поставения проблем, е моделният подход, чиято същност е генериране и използване на математически модел, отчитащ съществените за процеса фактори и описващ изследвания обект с достатъчна адекватност и точност.

Независимо от голямото разнообразие от обекти и методи за моделиране процесът на създаване на модел преминава през няколко принципни етапа². На първо място е необходимо да бъдат дефинирани целта, целевата функция, критериите и ограниченията за математическия модел на разпределяне на наличните ресурси при подготовката на летателните апарати за полети от икономическа гледна точка.

Специфичните особености на изучавания процес предполагат моделирането да бъде извършено с помощта на метода на статистическите изследвания (метод „Монте Карло“), който не поставя предварителни ограничения и позволява посредством обработване на статистически данни да бъдат разкрити основни

те закономерности на моделирания процес, които впоследствие да бъдат математически описани³.

Една от възможните цели на разработвания модел за разпределяне на ресурсите при подготовката на летателните апарати за полети може да бъде създаване на математически инструмент за изследване на изучавания процес и оптимизирането му по отношение на времето за подготовка. Математическото описание на процеса е насочено към получаване на аналитичен израз, разкриващ влиянието на редица съществени фактори върху избрания изходен параметър – времето за подготовка за полети.

Целевата функция на разработвания модел, наричана още параметър на моделиране или изходен параметър, е свързана с един от ресурсните елементи – времето за подготовка за полети, което е основен критерий за бойна ефективност на авиационните формирования. Приетата целева функция може да бъде описана количествено за всяка комбинация от отчитани входни фактори. Множеството от стойности на времето за подготовка на летателните апарати за полети дефинира областта на определяне на целевата функция като ограничена и дискретна. Функцията се характеризира също с ясен физически смисъл, простота при измерване и изчисляване.

Критерият за моделиране на процеса на разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети съдържа математическите изисквания към характера на съответствие между реалния обект и изграждания модел – на практика това е размерът на средноквадратичната грешка между получените с помощта на модела резултати и тези от реалната експлоатация на летателните апарати.

Като ограничения за модела са въведени условията за изследване на обекта само по отношение на избраната целева функция и изменение на отчитаните входни фактори в области, отговарящи на реално съществуващите ресурси в момента на моделиране.

От гледна точка на моделирането процесът на разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети представлява многофакторен обект, включващ материални, човешки и информационни ресурси, върху който оказват влияние много фактори. За генерирането на математическия модел е необходимо да бъдат определени факторите с най-съществено влияние. За тази цел се решават следните подзадачи: изготвяне на подробен списък на факторите, влияещи върху изследвания проблем; избор на съществени фактори и отстраняване на несъществените; установяване на съответствието на избраните съществени фактори на необходимите изисквания от гледна точка на математическото моделиране.

С помощта на експерти при предварителното изследване процеса на разпределяне на ресурсите при подготовката на летателните апарати за полети по метода на мозъчната атака се изготвя подробен списък на факторите, влияещи върху изследвания процес. На базата на натрупания опит се изключват факторите, чието влияние може да бъде пренебрегнато. Така се определят съществените за процеса фактори:

- брой на летателните апарати, включени в групата за подготовка за полети;
- прилагани методи за разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети;
- ниво на надеждност и експлоатационна технологичност за конкретните типове летателни апарати;
- обем на наличните човешки ресурси (инженерно-технически състав) за различните авиационни специалности;
- степен на образование и квалификация;
- професионален опит;
- морално-психическо и физическо състояние;
- налични общи материални ресурси – средства за наземно обслужване с общо предназначение (СНО-ОП), средства за технически контрол, резервни части и т.н.;

- обем и производителност на специфичните материални ресурси – средства за наземно обслужване със специално предназначение (СНО-СП);
- параметри на външната среда – температура и влажност на въздуха, сила на вятъра, видимост и т.н.;
- условия за провеждане на подготовката за полети от гледна точка на базиране на летателните апарати, въздействие на противника, състояние на околната среда (химично, биологично и друг вид замърсяване).

Избраните съществени фактори описват различни характеристики на ресурсите. Ранжирането на факторите се извършва с помощта на метода на експертната оценка. Като експерти се използват специалисти в областта на ек-

Таблица 1

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
E1	7	8	1	5	4	2	10	6	2	9	11
E2	1	6	4	2	6	3	5	3	2	5	7
E3	5	6	4	3	1	1	7	2	2	3	3
E4	8	7	5	2	1	3	4	2	7	6	4
E5	1	5	2	2	1	2	2	3	4	6	5
E6	2	5	1	6	1	3	5	4	4	7	7
E7	1	2	1	3	4	3	5	2	2	5	4
E8	2	3	1	10	4	5	7	8	6	11	9
E9	5	4	5	1	2	8	7	10	9	3	11
E10	8	6	7	5	1	1	2	2	3	4	3
E11	3	3	2	1	2	2	2	1	1	2	3
E12	2	3	3	5	1	2	4	4	5	6	7
E13	2	4	7	5	2	1	6	1	3	9	8
E14	2	10	3	8	6	5	7	4	9	11	1
E15	1	6	2	5	4	3	9	7	8	11	10
E16	6	5	5	2	2	1	2	3	4	8	7
E17	7	6	3	4	1	1	1	2	5	4	3
E18	4	4	3	4	1	2	5	3	5	6	5
E19	1	4	5	8	2	6	7	3	9	10	11
E20	5	4	2	3	1	1	7	2	2	6	3
E21	8	7	6	5	2	1	3	4	9	10	10

сплоатацията на летателните апарати с висока квалификация и дългогодишен опит. За нуждите на експертната оценка е разработена анкетна карта, съдържаща съществени фактори и единадесетстепенна скала за измерване.

Резултатите, получени от експертната оценка, са показани в табл. 1, където с Е са означени експертите, а с F – отчитаните фактори.

Вижда се, че съществуват анкетни карти (например E2, E3, E4 и т.н.), в които има фактори с еднакви рангове, т.е. експертите са ги оценили като еднакво важни за моделирания процес и целевата функция. Това налага преизчисляване на ранговете на факторите, така че сумарните рангове за всички редове на табл. 1 да бъдат равни. За целта се използва формула²:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \frac{1}{2} n(n+1) = \frac{1}{2} 11 \cdot 12 = 66, \quad (1)$$

където n е броят на отчитаните фактори.

Преработването на данните от втория ред на табл. 1 за удовлетворяване на изискването на (1) е както следва:

$$x_4 = x_9 = \frac{1}{2} (2 + 3) = 2,5; \quad x_6 = x_8 = \frac{1}{2} (4 + 5) = 4,5;$$

$$x_2 = x_5 = \frac{1}{2} (9 + 10) = 9,5; \quad x_7 = x_{10} = \frac{1}{2} (7 + 8) = 7,5.$$

Аналогично се преработват останалите редове на изходната таблица, като резултатите са представени в табл. 2.

Таблица 2

	$F1$	$F2$	$F3$	$F4$	$F5$	$F6$	$F7$	$F8$	$F9$	$F10$	$F11$	U_{ij}
E1	7	8	1	5	4	2,5	10	6	2,5	9	11	0,5
E2	1	9,5	6	2,5	9,5	4,5	7,5	4,5	2,5	7,5	11	2
E3	9	10	8	7	1,5	1,5	11	3,5	3,5	5,5	5,5	1,5
E4	11	9,5	7	2,5	1	4	5,5	2,5	9,5	8	5,5	1,5
E5	1,5	9,5	4,5	4,5	1,5	4,5	4,5	7	8	44	9,5	6
E6	3	7,5	1,5	9	1,5	4	7,5	5,5	5,5	10,5	10,5	2
E7	1,5	4	1,5	6,5	8,5	6,5	10,5	4	4	10,5	8,5	4
E8	2	3	1	10	4	5	7	8	6	11	9	0
E9	5,5	4	5,5	1	2	8	7	10	9	3	11	0,5
E10	11	9	10	8	1,5	1,5	3,5	3,5	5,5	7	5,5	1,5
E11	10	10	6	2	6	6	6	2	2	6	10	14
E12	2,5	4,5	4,5	8,5	1	2,5	6,5	6,5	8,5	10	11	2
E13	3,5	6	9	7	3,5	1,5	8	1,5	5	11	10	1
E14	2	10	3	8	6	5	7	4	9	11	1	0
E15	1	6	2	5	4	3	9	7	8	11	10	0
E16	9	7,5	7,5	3	3	1	3	5	6	11	10	2,5
E17	11	10	5,5	7,5	2	2	2	4	9	7,5	5,5	3
E18	6	6	3,5	6	1	2	9	3,5	9	11	9	4,5
E19	1	4	5	8	2	6	7	3	9	10	11	0
E20	9	8	4	6,5	1,5	1,5	11	4	4	10	6,5	3
E21	8	7	6	5	2	1	3	4	9	10,5	10,5	0,5
$\sum x_{ij}$	115,5	153	102	122,5	67	73,5	145,5	99	134,5	193	181,5	50

Резултатите от експертната оценка се използват за определяне степента на съгласуваност между мненията на експертите, което се осъществява с по-

мощта на коефициента на конкордация (W). Изчисляването му се извършва по формула²:

$$W = \frac{S_d}{\frac{1}{12} m^2 n (n^2 - 1) - m \sum_{j=1}^m V_j}, \quad (2)$$

където:

$$S_d = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right]^2 = 16415,5. \quad (3)$$

Замествайки стойностите на параметрите в (2), за коефициента на конкордация се получава, че е равен на 0,346. Това показва, че между мненията на експертите съществува много голяма близост. Ограниченият брой на експертите, участвали в изследването, може да бъде причина за случайния характер на стойността на използвания коефициент. Изключването на подобна възможност се постига чрез определяне степента на значимост на W с помощта на критерия на Пирсън (χ^2 -критерий). Аналитичната стойност на критерия на Пирсън се определя по формула²:

$$V = \frac{S_d}{\frac{1}{12} mn(m+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m V_j} = 72,635. \quad (4)$$

Табличната стойност на критерия на Пирсън при ниво на значимост на получените резултати $\alpha = 0,1$ и степени на свобода $v = n - 1$ е $\chi^2 = 23,209$. Сравнявайки аналитичната и табличната стойност на критерия, се получава:

$$V = 72,635 > 23,2 = \chi^2. \quad (5)$$

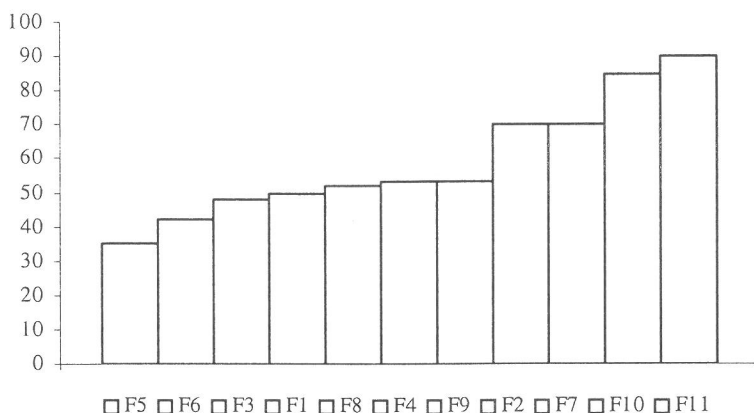
Следователно може да се направи изводът, че с вероятност не по-малка от 90 % съществува много голяма близост между мненията на експертите и резултатите от експертната оценка могат да бъдат използвани за нуждите на разработвания модел.

На фиг. 1 е представена хистограмата на факторите, въз основа на която са избрани тези, чието влияние ще бъде отчитано при генериране на математическия модел за разпределяне на ресурсите при подготовката на летателните апарати за полети:

- ниво на квалификация и подготвеност на човешките ресурси за изпълнение на операциите при подготовката на летателните апарати за полети;
- обем на наличните човешки ресурси от различните авиационни специалности;
- степен на насищане на технологичния процес с общи материални ресурси – средства за наземно обслужване с общо предназначение, средства за контрол, апаратура и инструменти;
- обем, мощност и производителност на специфичните материални ресурси – средства за наземно обслужване със специално предназначение;
- брой на летателните апарати, планирани за едновременно подготовка за полети.

За всеки от избраните определящи фактори z_i съществува област (z_{\min}, z_{\max}), в която могат да бъдат количествено оценени. Оценка на факторите може да бъде дадена с едно число, т.е. тя е еднозначна. Избраните фактори са управляе-

ми – могат да се установяват и поддържат с достатъчна точност на различни нива от областите на дефиниране. Избраните определящи фактори са независими, между тях няма функционална връзка, и са съвместими – налице е възможност за реализиране на всички възможни комбинации от стойности на факторите в границите на дефиниционните им области.



Фиг. 1. Хистограма на определящите фактори

Използването на избраните определящи фактори в процеса на моделиране на разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети е свързано с математическото им описание. Съгласно теорията на системния анализ те се описват с помощта на определящи параметри, характеризиращи ги от гледна точка на поставената цел при моделирането. Като определящи параметри са избрани:

- времена за изпълнение на технологичните операции при подготовката на летателните апарати за полети за различните авиационни специалности – t_{SD} ; t_{AO} ; t_{RO} ; t_{AV} ;
- брой на обслужващите групи за различните авиационни специалности – N ;
- обем на средствата за наземно обслужване с общо предназначение, използвани при подготовката на летателните апарати за полети – n ;
- брой на летателните апарати, планирани за едновременна подготовка за полети – A .

Всички избрани определящи параметри имат случаен характер, което налага да бъдат изучени. Според теорията на математическата статистика една случайна величина може да бъде приета за изучена, ако е известен изразът, описващ функцията ѝ на разпределение. Априорната информация за приетите определящи параметри е недостатъчна за формулиране на функциите им за разпределение, което налага прилагане на класически методи за решаване на проблема с изучаването на тези параметри.

В хода на моделирането подробно се разглежда редът за определяне вида на функцията за разпределение на случайната величина „необходимо време за изпълнение на технологичните операции за специалност „Самолета и двигател“ (SD) при подготовка на летателните апарати за полети“. За решаване на задачата се използват статистически данни, взети от експлоатацията на авиационната техника, посочени в табл. 3.

Определянето на функцията за разпределение на изследваната случайна величина е свързано със съставяне на статистическия ред на величината (табл. 4)³

и построяване на хистограмата му. Интервалът на изменение на изследваната случайна величина е 11–16 минути, като е разделен на шест подинтервала с дискретност една минута.

Таблица 3

Изпълнител Операция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SD-to-1	11	12	14	15	13	13	14	15	16	15	13	14	16	15
SD-to-2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1
AO-to-1	6	7	7	6	5	8	9	8	9	8	5	8	9	7
AO-to-2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1
RO-to-1	2	5	3	3	3	2	2	2	3	3	4	3	3	2
RO-to-2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2
AV-to-1	12	13	13	12	9	12	18	12	13	15	16	15	12	13
AV-to-2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2

С I_i са описани съответните подинтервали от областта за изменение на случайната величина; m_i е абсолютната честота на дадения подинтервал, p_i^* е относителната честота, определена по формула $p_i^* = \frac{m_i}{n}$, а h_i е височината на графичното изображение на подинтервалите, определена по формула

$$h_i = \frac{p_i^*}{x_{i+1} - x_i}.$$

Таблица 4

1	I_i	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16
2	m_i	1	1	2	3	5	2
3	p_i^*	0,07	0,07	0,15	0,21	0,35	0,15
4	h_i	0,07	0,07	0,15	0,21	0,35	0,15

В съответствие с вида на хистограмата на фиг. 2 се приема хипотезата, че в интервала за дефиниране на изследваната случайна величина има нормален закон за разпределение от вида³:

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - a)^2}{2\sigma_i^2}}. \quad (6)$$

Определянето на параметрите на емпиричното разпределение от (6) става с помощта на характеристиките на статистическото разпределение по формули:

$$m_x^* = \sum_{i=1}^k x_i p_i^* = 13,65 \text{ (математическо очакване);}$$

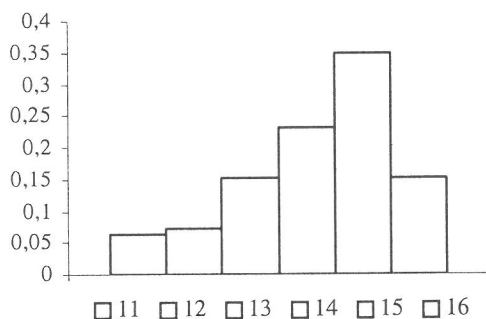
$$D_x^* = \sum_{i=1}^k (x_i - m_x^*)^2 p_i^* = 1,99 \text{ (дисперсия);}$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{D_x^*} = 1,41 \text{ (средноквадратично отклонение).}$$

Замествайки стойностите на параметрите в (6), за закона за разпределение на изследваната случайна величина се получава:

$$f_i(x) = \frac{1}{1,41\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - 1,99)^2}{3,98}}. \quad (7)$$

Степента на съответствие между теоретичното и статистическото разпределение на определящия параметър „време за изпълнение на технологичните



Фиг. 2. Хистограма на случайна величина $t_{SD-to-1}$

операции по самолета и двигателя при подготовка на летателните апарати за полети“ се доказва с критерия на Пирсън. На базата на статистическите данни се определят степените на свобода за изследваната величина $r = 3$ и емпиричната стойност на критерия $\chi = 2,577$. Вероятност $\beta = 0,49 > 0,1$ се определя на основата на данни от литературни източници, което позволява да бъде направен изводът, че приетата хипотеза за вида на функцията за разпределение на изследваната случайна величина може да се приеме за вярна и да бъде използвана в процеса на моделирането.

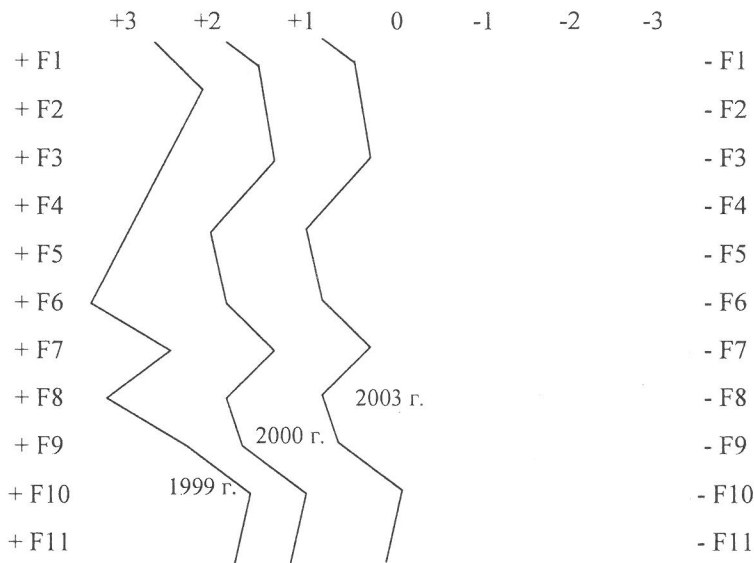
По аналогичен начин са определени функциите за разпределение на останалите случайни величини, описващи избраните определящи параметри на моделирания процес за разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети.

Данните от експертната оценка на определящите фактори за процеса на разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети се използват за построяване кривата на факторите по метода на семантичния диференциал. На фиг. 3 е представен видът на построените криви на факторите, отнасящи се за различни години – 1999, 2000 и 2003.

Множествените изследвания на факторите с помощта на метода на семантичния диференциал позволяват да се разкрият тенденциите в изменението на степента на влиянието им върху моделирания процес. Анализът на кривите от фиг. 3 дава основание да бъдат направени следните изводи:

- Общият характер на влияние на определящите фактори върху избраната целева функция се запазва, т.е. не се налага промяна на дефинираното факторно пространство.

- Налице е нарастване степента на влияние на фактори 2 и 6, както и намаляване степента на влияние на фактори 9 и 11.



Фиг. 3. Криви на определящите фактори

С избора на определящите параметри за процеса на разпределяне на ресурсите при подготовка на летателните апарати за полети се формира седеммерно факторно пространство, в чиито граници се генерира математическият модел. На базата на предварително проведени експерименти е установено, че в границите на това пространство съществуват области, в които влиянието на някои от избраните фактори е доминиращо. Условието, с чиято помощ факторното пространство се разделя на области на доминиращите фактори, се описват с неравенства.

За първа област, в която доминиращи фактори са броят на летателните апарати в групата за едновременно подготовка за полети, броят на обслужващите групи по специалности и времето за изпълнение на технологичните операции по специалност „Авиационно въоръжение“, неравенството е от вида:

$$\left\{ \frac{A}{N} \right\} t_{AV} \geq \left\{ \frac{A}{n} \right\} t_{GSM} + t_{SD}. \quad (8)$$

За втора област, в която доминиращи фактори са обемът на средствата за наземно обслужване с общо предназначение, времето за извършване на зареждане на летателните апарати с гориво и броят на летателните апарати в групата за едновременно подготовка за полети, видът му е:

$$\left\{ \frac{A}{N} \right\} t_{AV} < \left\{ \frac{A}{n} \right\} t_{GSM} + t_{SD}. \quad (9)$$

Върху вида и структурата на изграждания математически модел влияние оказва предварителната информация за моделирания процес, съгласно която зависимостта между входните фактори и целевата функция има нелинеен характер. В същото време предварителната информация е недостатъчна за построяване на аналитичен модел, което налага използване на нелинейна апроксимация от вида²:

$$Y = \sum_{i=1}^n \beta_i \Phi_i(x). \quad (10)$$

Апроксимиращите функции имат нелинеен характер, като генерираният модел, записан с тяхна помощ, е от вида:

$$Y = c_0 + \sum_{i=1}^k c_i y_i + \sum_{i=k+1}^l c_i y_i y_{i+1} + \sum_{i=1}^n c_i y_i^2; \quad (11)$$

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=k+1}^l b_i x_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2.$$

Таблица 5

Номер на опита	t_{AV}	N	A	$t_{ПП}$
1	77	4	5	156
2	93	3	4	188
3	77	4	6	156
4	90	4	5	182
5	85	5	6	172
6	84	3	4	170
7	60	3	6	183
8	73	4	5	148
9	81	4	6	164
10	75	3	5	152
11	62	3	4	126
12	82	3	6	166
13	74	4	5	150
14	76	5	6	154
15	82	3	4	175

Регресионните коефициенти от (11) се определят на базата на статистически данни, получени при провеждане на машинен експеримент с помощта на разработен софтуер. Основните задачи при обработването на експерименталните данни са получаване на оценките на коефициентите на регресионните уравнения,

както и на някои статистически характеристики, необходими за статистическия анализ на модела.

Ограниченият брой на проведените наблюдения позволява определяне на оценките на коефициентите, което се извършва поотделно за двете области на факторното пространство.

Резултатите от проведените наблюдения при получаване на оценките на коефициентите за първата област от факторното пространство са показани в табл. 5.

Данните от табл. 5 се обработват след заместване на факторите с кодирани променливи, дефинирани с помощта на техните основни нива и средни стойности. Резултатите от наблюденията, записани с помощта на кодирани променливи, са представени в табл. 6.

X_1, X_2, X_3 от табл. 6 съставят матрицата на плана на експеримента, а $t_{\text{ПП}}$ представлява вектор стълба на резултатите. Използвайки данните от табл. 6, задачата се свежда до определяне стойностите на коефициентите на регресионното уравнение:

$$t_{\text{ПП}} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1^2 + b_8x_2^2 + b_9x_3^2. \quad (12)$$

Таблица 6

Номер на опита	X_1	X_2	X_3	$t_{\text{ПП}}$
1	0	0	0	156
2	1	-1	-1	188
3	0	0	1	156
4	1	0	0	182
5	1	1	1	172
6	1	-1	-1	170
7	-1	-1	1	183
8	0	0	0	148
9	1	0	1	164
10	0	-1	0	152
11	-1	-1	-1	126
12	1	-1	1	166
13	0	0	0	150
14	0	1	1	154
15	1	-1	-1	175

Стойностите на коефициентите от уравнение 12 се получават след решаване на система от уравнения, определена на базата на разширената, транспонираната и информационната матрица и вектор стълба от табл. 6:

$$\begin{aligned} 15b_0 + 5b_1 - 5b_2 + 2b_3 - b_4 + 4b_6 + 9b_7 + 9b_8 + 10b_9 &= 2433 \\ 5b_0 + 9b_1 - b_2 - 5b_4 + 3b_6 + 5b_7 + 3b_8 + 4b_9 &= 899 \\ -5b_0 - b_1 + 9b_2 + 4b_3 + 3b_4 + 3b_5 - 5b_7 - 5b_8 - 4b_9 &= -825 \\ 2b_0 + 4b_2 + 10b_3 + 3b_4 + 4b_5 - 4b_6 + 2b_9 &= 345 \\ -b_0 - 5b_1 + 3b_2 + 3b_3 + 7b_4 - b_6 - b_7 - b_8 - b_9 &= -209 \\ 3b_2 + 4b_3 + 3b_4 + 8b_5 - b_6 - b_8 &= -79 \\ 4b_0 + 3b_1 - 4b_3 - b_4 - b_5 + 8b_6 + 3b_7 + 4b_8 + 4b_9 &= 627 \\ 9b_0 + 5b_1 - 5b_2 - b_4 + 3b_6 + 9b_7 + 7b_8 + 8b_9 &= 1517 \\ 9b_0 + 4b_1 - 4b_2 + 2b_3 - b_4 + 4b_6 + 8b_7 + 8b_8 + 10b_9 &= 1477 \\ 10b_0 + 4b_1 - 4b_2 + 2b_3 - b_4 + 4b_6 + 8b_7 + 8b_8 + 10b_9 &= 1645 \end{aligned}$$

Системата уравнения се решава с помощта на софтуерен продукт „Математика 2000“, като се получават следните стойности за коефициентите на регресионното уравнение (табл. 7):

Таблица 7

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9
152	14,3	2,9	5,9	6,5	-16,8	-6,2	14	3	-3,6

Замествайки стойностите на коефициентите в (12), се получава:

$$t_{\text{ПП}} = 152 + 14,3x_1 + 2,9x_2 + 5,9x_3 + 6,5x_1x_2 - 16,8x_1x_3 - 6,2x_2x_3 + 14x_1^2 + 3x_2^2 - 3,6x_3^2.$$

По същия начин се определят стойностите на коефициентите и видът на уравнението, описващо връзката между входните фактори и целевата функция за втората област от факторното пространство на създавания математически модел:

$$t_{\text{ПП}} = 1955 + 11,27y_1 - 35,5y_2 + 33,8y_3 + 18,3y_1y_2 - 12,4y_1y_3 + 5,8y_2y_3 - 0,5y_1^2 - 6,7y_2^2 - 26,5y_3^2.$$

Обобщавайки изводите, направени за вида на условието, разделящо факторното пространство на области на доминиращите фактори, и регресионните уравнения, описващи връзките между входните фактори и целевата функция на обекта за моделиране в двете области на факторното пространство, за математическия модел на процеса на подготовка на летателните апарати за полети се получава:

$$t_{\text{ПП}} = 152 + 14,3x_1 + 2,9x_2 + 5,9x_3 + 6,5x_1x_2 - 16,8x_1x_3 - 6,2x_2x_3 + 14x_1^2 + 3x_2^2 - 3,6x_3^2;$$

$$\left\{ \frac{A}{N} \right\} t_{\text{AV}} \geq \left\{ \frac{A}{n} \right\} t_{\text{GSM}} + t_{\text{SD}};$$

$$t_{\text{ПП}} = 1955 + 11,27y_1 - 35,5y_2 + 33,8y_3 + 18,3y_1y_2 - 12,4y_1y_3 + 5,8y_2y_3 - 0,5y_1^2 - 6,7y_2^2 - 26,5y_3^2;$$

$$\left\{ \frac{A}{N} \right\} t_{\text{AV}} < \left\{ \frac{A}{n} \right\} t_{\text{GSM}} + t_{\text{SD}}.$$

Създаването на математически модел на процеса за разпределяне на наличните ресурси при подготовката на летателните апарати за полети се основава на стандартните методи за моделиране и класическата теория в областта на статистиката, математиката и икономиката. С помощта на разработения математически модел изследваният процес се описва по отношение на определящите го фактори от гледна точка на целевата функция. Моделът може да бъде използван за решаване на задачи за оптимизиране разпределянето на наличните ресурси от различни типове с цел минимизиране на времето за подготовка за полети и осигуряване на максимален брой самолетоизлитания за единица време. Тази възможност го прави удобно средство за осъществяване процеса на управление на дейността на организациите, осигуряващи летателна дейност в рамките на гражданската и военната авиация.

¹ Иванов, Т. Икономика на отбраната. С., 2002.

² Божанов, Е., И. Вучков. Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти. С., 1973.

³ Василев, Н., А. Цанов. Приложна математика. С. 1985.